

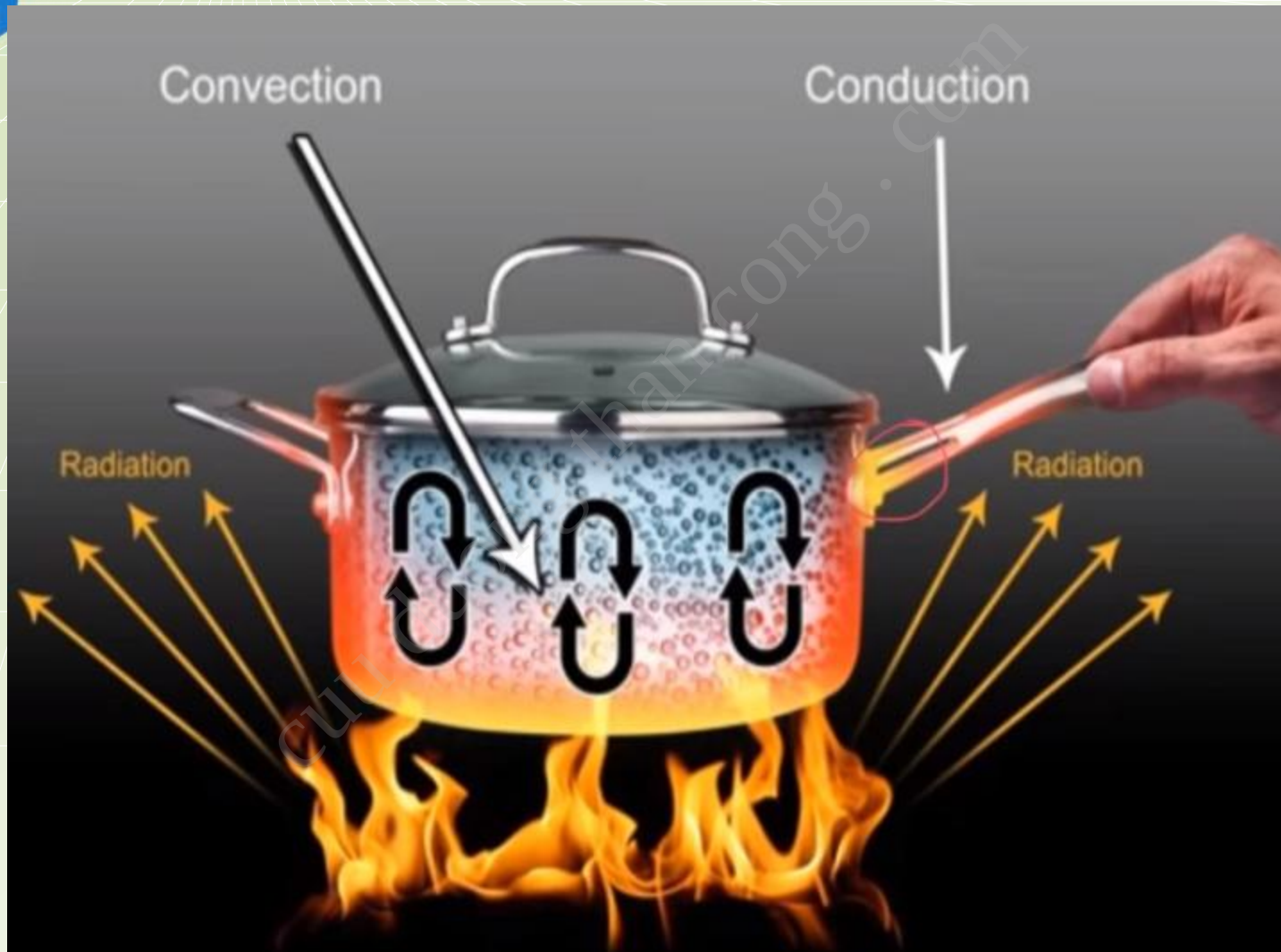
Chương 5: Quang lượng tử

5.1 Bức xạ nhiệt

5.2 Hiện tượng quang điện

5.3 Tán xạ Compton

5.1 Bức xạ nhiệt





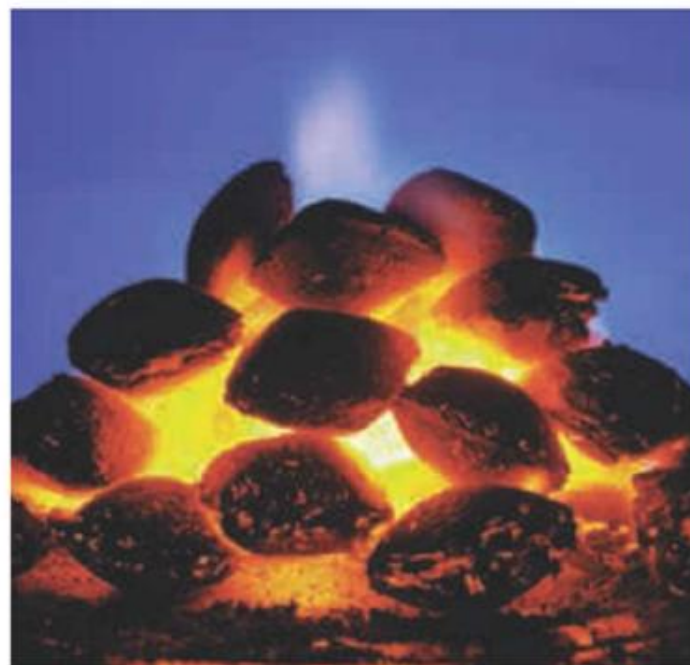
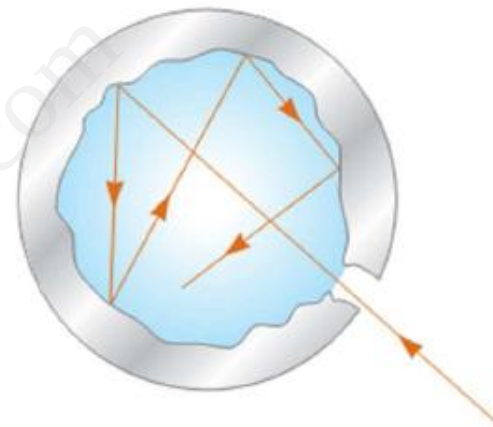
5.1 Bức xạ nhiệt (1)

- a. Một số định nghĩa
- b. Các định luật bức xạ nhiệt
- c. Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt
- d. Màu sắc và nhiệt độ các vì sao



5.1a Một số định nghĩa (1)

- **Bức xạ nhiệt** là các bức xạ điện từ phát ra từ một vật được nung nóng.
- Ví dụ: bức xạ từ mặt trời, hơi ấm từ ngọn lửa ...
- **Vật đen tuyệt đối** là vật hấp thụ hết các bức xạ đi đến nó.
- Ví dụ: vật sơn đen, hốc sâu có miệng nhỏ ...





5.1a Một số định nghĩa (3)

- Năng suất bức xạ toàn phần R là năng lượng bức xạ từ một đơn vị diện tích của vật, trong một đơn vị thời gian.
- R có đơn vị $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ hay W/m^2 .



5.1a Một số định nghĩa (4)

- Gọi dU là năng lượng bức xạ từ một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian, của các bước sóng trong khoảng $(\lambda, \lambda + d\lambda)$.
- Năng suất bức xạ đơn sắc R_λ ở bước sóng λ là:

$$R_\lambda = \frac{dU}{d\lambda}$$

- R_λ liên hệ với R qua:

$$R = \int_0^\infty dU = \int_0^\infty R_\lambda d\lambda$$



5.1a Một số định nghĩa (5)

- Gọi dU là năng lượng bức xạ từ một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian, của các tần số trong khoảng $(f, f + df)$.
- Năng suất bức xạ đơn sắc R_f ở tần số f là:

$$R_f = \frac{dU}{df}$$

- R_f liên hệ với R qua:

$$R = \int_0^{\infty} dU = \int_0^{\infty} R_f df$$



5.1b Các định luật bức xạ nhiệt (1)

- Định luật Stefan-Boltzmann cho vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ T :

$$R = \sigma T^4$$

- σ là hằng số Stefan-Boltzmann.
- $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$
- Với các vật khác:

$$R = \alpha \sigma T^4$$

- với $\alpha < 1$ là hệ số hấp thụ của vật.



5.1b Các định luật bức xạ nhiệt (2)

- Định luật Wien cho vật đen tuyệt đối ở nhiệt độ

T :

$$\lambda_m T = b$$

b : hằng số Wien

- $b = 2,8978 \times 10^{-3} \text{ m.K} = 2897,8 \text{ }\mu\text{m.K}$
- λ_m là bước sóng ứng với năng suất bức xạ đơn sắc lớn nhất – vật bức xạ mạnh nhất ở bước sóng λ_m .
- Dùng để đo nhiệt độ của vật đen tuyệt đối – các vì sao, hố lỗ tại ...
- Vật nóng hơn thì bức xạ mạnh ở bước sóng ngắn hơn.



5.1c Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt (1)

- **Giả thuyết Planck (1900):** Các nguyên tử, phân tử bức xạ năng lượng thành từng lượng tử, mỗi lượng tử có năng lượng:

$$\varepsilon = hf$$

- h là hằng số Planck.
- $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

5.1c Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt (2)

- Từ giả thuyết Planck, tìm được biểu thức của năng suất bức xạ đơn sắc:

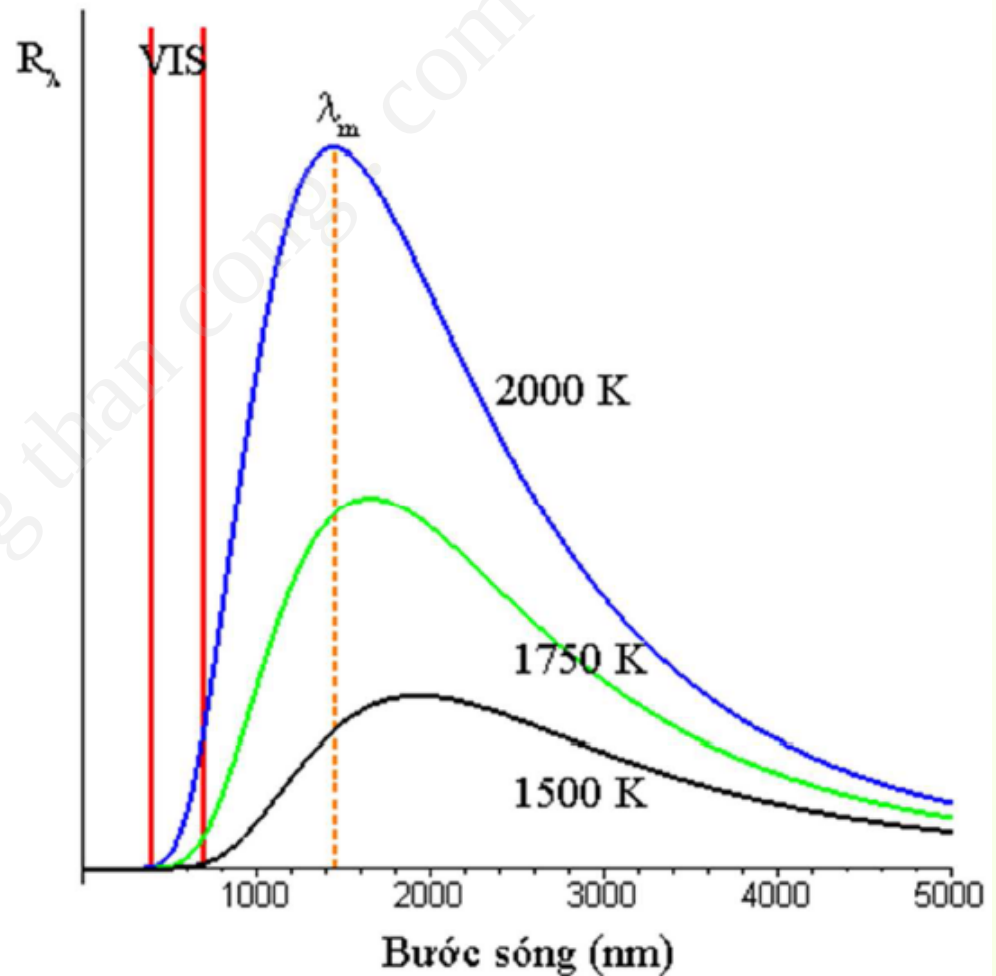
$$R_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \rightarrow \frac{hc}{\lambda k_B T}$$

$$R_f = \frac{2\pi hf^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1} \rightarrow \frac{hf}{k_B T}$$

- k_B là hằng số Boltzmann.
- $k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

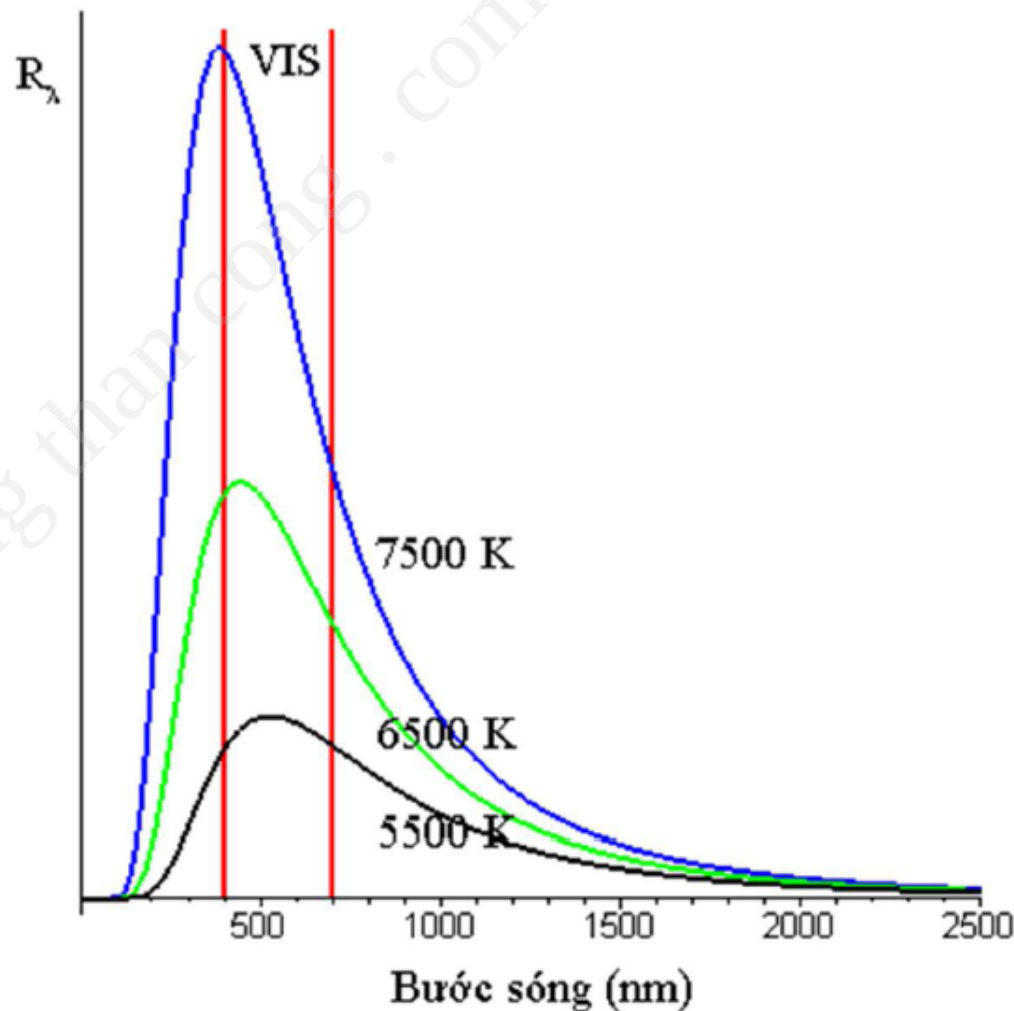
5.1c Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt (4)

- Ở nhiệt độ thấp, vật bức xạ chủ yếu trong vùng hồng ngoại.
- Đỉnh của năng suất bức xạ ứng với bước sóng vật bức xạ mạnh nhất λ_m .
- Nhiệt độ tăng, λ_m giảm dần, phù hợp với ĐL Wien.



5.1c Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt (5)

- Ở nhiệt độ cao, vật bắt đầu bức xạ trong vùng khả kiến.
- Nhiệt độ tăng, λ_m giảm dần từ đỏ đến xanh.
- Vật phát sáng màu xanh nóng hơn vật “nóng đỏ”!



5.1c Thuyết lượng tử về bức xạ nhiệt (6)

- Từ biểu thức của R_λ có thể suy ra các định luật Stefan-Boltzmann và Wien.
- Tích phân của R_λ theo λ từ 0 đến ∞ cho năng suất bức xạ toàn phần R .
- Bước sóng λ_m được xác định từ điều kiện cực đại của R_λ .



Ví dụ (1)

Nhiệt độ bề mặt của một ngôi sao ở cách xa trái đất $5,2 \times 10^{18}$ m là 5400 K. Công suất nhận được trên một đơn vị diện tích ở trái đất là $1,4 \times 10^{-4}$ W/m². Hãy ước lượng bán kính của ngôi sao.



Ví dụ (2)

- Gọi r là khoảng cách từ ngôi sao đến trái đất, S_E là công suất nhận được trên mỗi m^2 ở trái đất.
- Nếu năng lượng phát xạ không bị mất mát dọc đường truyền, công suất phát xạ của ngôi sao bằng công suất nhận được trên mặt cầu bán kính r :

$$P = 4\pi r^2 S_E \quad (1)$$

- Mặt khác, ta có công suất phát xạ:

$$P = 4\pi R^2 S = 4\pi R^2 (\sigma T^4) \quad (2)$$

- S là năng suất phát xạ, theo định luật Stefan-Boltzman.



Ví dụ (3)

- Từ (1) và (2) suy ra bán kính ngôi sao:

$$R = \left(\frac{r^2 S_E}{\sigma T^4} \right)^{1/2} = \frac{r}{T^2} \left(\frac{S_E}{\sigma} \right)^{1/2}$$

- Thay bằng số ta được:

$$R = \frac{5,2 \cdot 10^{18}}{5400^2} \left(\frac{1,4 \cdot 10^{-4}}{5,67 \cdot 10^{-8}} \right)^{1/2} = 8,86 \cdot 10^{12} m$$



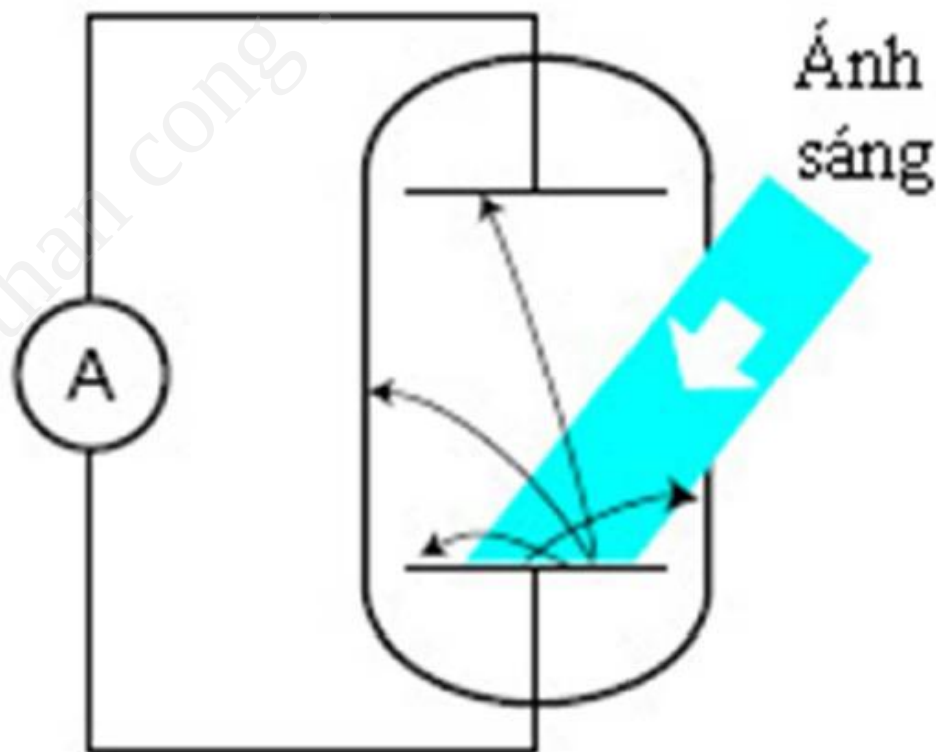
5.2 Hiện tượng quang điện

- a. Hiện tượng
- b. Thuyết photon của Einstein
- c. Giải thích hiện tượng
- d. Đo hằng số Planck và công thoát
- e. Ứng dụng



5.2a Hiện tượng quang điện

- Chiếu ánh sáng đến bản kim loại.
- Có dòng quang điện khi bước sóng nhỏ hơn bước sóng ngưỡng.
- Bước sóng ngưỡng thay đổi theo kim loại.





5.2b Thuyết photon của Einstein

- Mọi bức xạ điện từ đều cấu tạo từ những hạt nhỏ gọi là photon, mỗi photon có năng lượng và động lượng:

$$\varepsilon = hf$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

- Giữa chúng có hệ thức:

$$\varepsilon = h \frac{c}{\lambda} = pc$$

- Phù hợp với thuyết tương đối:

$$\varepsilon^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2 = (pc)^2$$

Khối lượng nghỉ của photon bằng không



5.2c Giải thích hiện tượng

- Để tách được một electron ra khỏi kim loại, photon tới phải có năng lượng ít nhất bằng công thoát của kim loại đó:

$$hf = h\frac{c}{\lambda} \geq W \Rightarrow \lambda \leq \frac{hc}{W}$$

- Vậy bước sóng ngưỡng là:

$$\lambda_t = \frac{hc}{W}$$

- Công thoát phụ thuộc vào kim loại, do đó bước sóng ngưỡng cũng thay đổi theo kim loại.



5.2d Đo hằng số plank và công thoát

Động năng cực đại của electron thoát ra: $K_{\max} = hf - W$

Để dòng quang điện triệt tiêu hoàn toàn cần phải đặt giữa anot và catot của tế bào quang điện một hiệu điện thế: $U_{AK} = -U_h$

Trong đó U_h gọi là hiệu điện thế hãm. Khi đó:

$$|e|U_h = \frac{mv_{0\max}^2}{2} \quad e = -1,6.10^{-19} C$$

Số electron bức ra khỏi catot

Cường độ dòng quang điện bão hòa: $I_{bh} = n_e |e|$

Hiệu suất lượng tử: $H = \frac{n_e}{n_F} 100\%$ Số electron đập vào catot mỗi giây

Công suất nguồn bức xạ: $P = n_F \cdot \mathcal{E} = n_F \cdot hf$



Ví dụ (1)

Ánh sáng bước sóng 200 nm được chiếu tới bề mặt Cadmium. Người ta phải dùng một hiệu thế hãm bằng 2.15 V để ngăn hoàn toàn dòng quang điện. Hãy tìm công thoát của Cadmium bằng eV.



Ví dụ (2)

- Khi dòng quang điện bằng không thì công của hiệu thế cân bằng động năng cực đại của electron:

$$e\Delta V = h\frac{c}{\lambda} - W$$

- Suy ra công thoát:

$$W = h\frac{c}{\lambda} - e\Delta V$$

$$W = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)}{200 \cdot 10^{-9}} - (1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot 2,15$$



Ví dụ (3)

- Đổi sang đơn vị eV:

$$W(eV) = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)}{200 \cdot 10^{-9}(1,6 \cdot 10^{-19})} - 2,15 = 4,07 eV$$



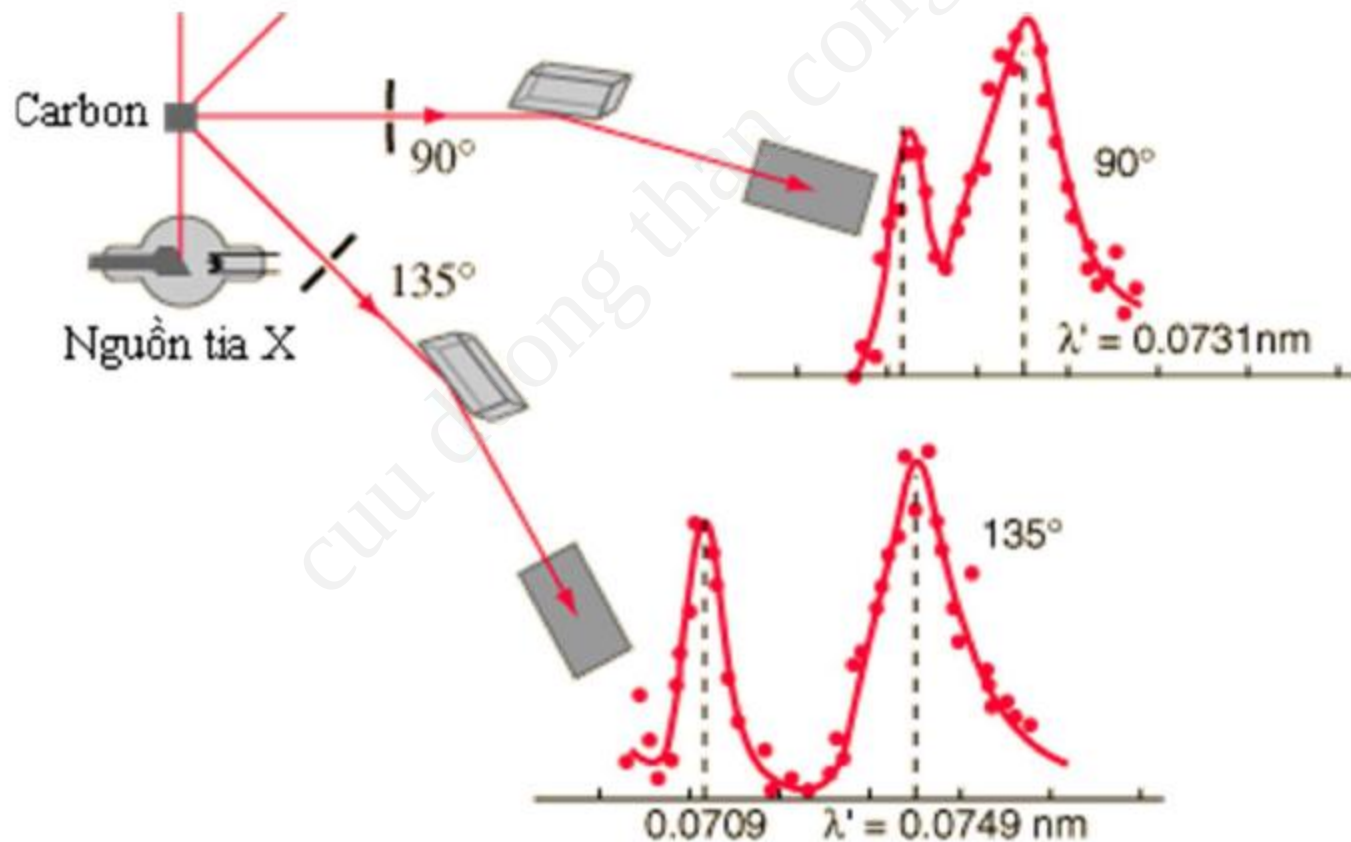
5.3 Tán xạ Compton

- a. Tán xạ Compton
- b. Giải thích hiện tượng
- c. Chứng tỏ công thức Compton
- d. Tầng ozone bảo vệ trái đất như thế nào?



5.3a Tán xạ Compton (1)

- Khi chiếu tia X đến một bia carbon, Compton thấy tia tán xạ có hai bước sóng : bước sóng λ bằng bước sóng tới, và bước sóng $\lambda' > \lambda$.





5.3a Tán xạ Compton (2)

- Độ chênh lệch giữa hai bước sóng phụ thuộc vào góc tán xạ θ theo công thức Compton:

$$\lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_c = 2,43 \times 10^{-12} m$$

- λ_c là bước sóng Compton.
- θ là góc lệch của photon tán xạ.



5.3b Giải thích hiện tượng

- Khi va chạm với một electron liên kết yếu, photon truyền động năng cho electron, do đó năng lượng giảm, tức là bước sóng tăng.
- Khi va chạm với một electron liên kết chặt thì photon mất rất ít năng lượng và có bước sóng gần như không đổi.
- Do đó có hai bước sóng trong tán xạ Compton: λ bằng bước sóng tới, và $\lambda' > \lambda$.

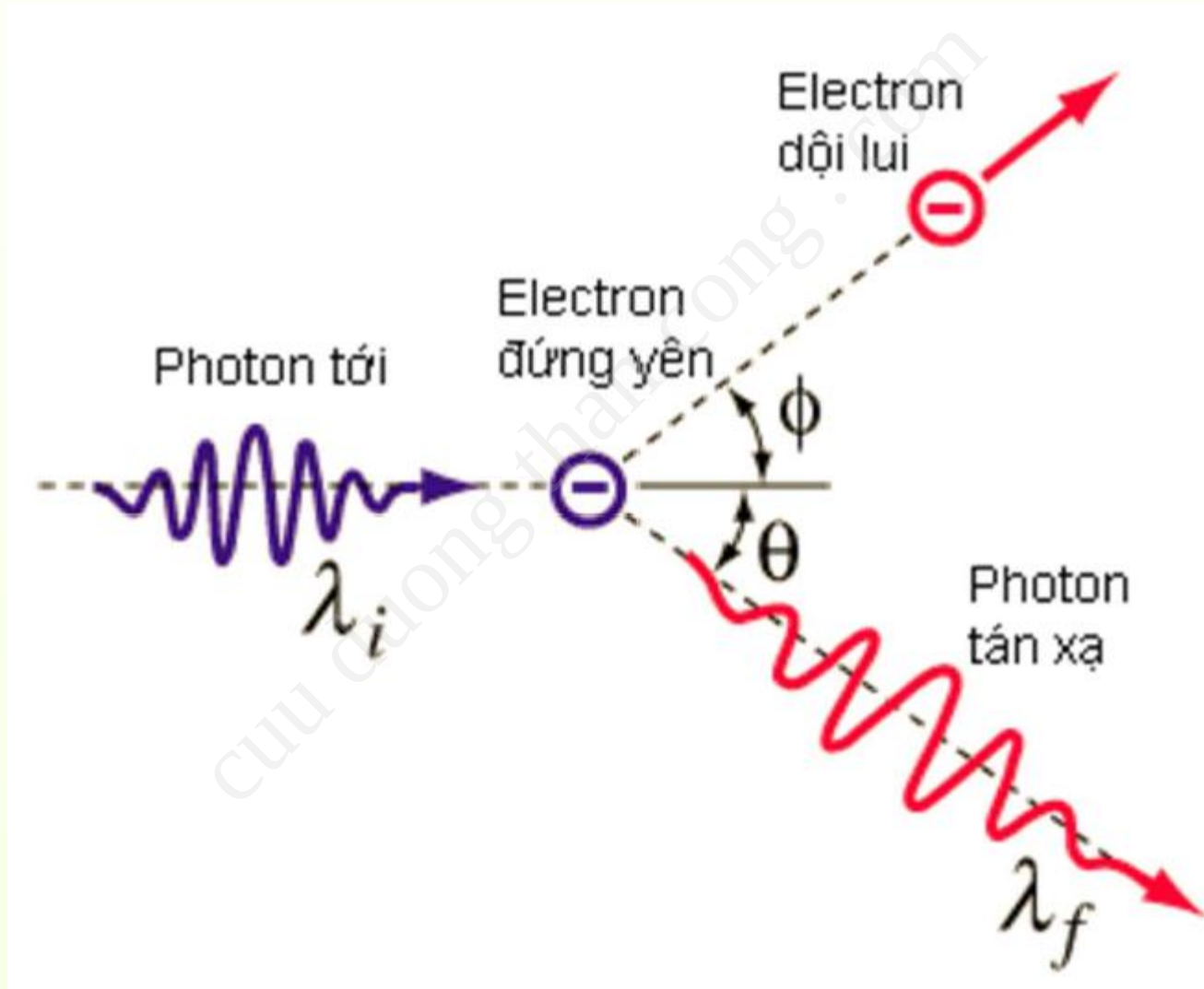


5.3c Chứng minh công thức Compton (1)

- Coi va chạm giữa photon và electron là đàn hồi, và electron ban đầu đứng yên.
- Năng lượng và động lượng trong va chạm được bảo toàn.
- Theo cơ tương đối, động năng và động lượng của một hạt có khối lượng nghỉ m , chuyển động với vận tốc v :

$$K = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right) \quad p = \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

5.3c Chứng minh công thức Compton (2)



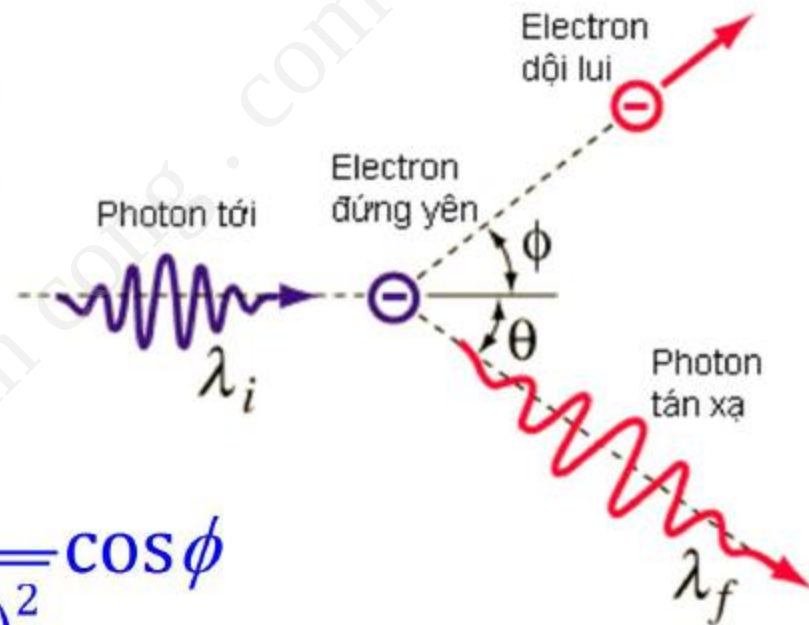


5.3c Chứng minh công thức Compton (3)

- Định luật bảo toàn động lượng trên phương ngang và phương thẳng đứng:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \cos \phi$$

$$0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - \frac{mv}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \sin \phi$$





5.3c Chứng minh công thức Compton (4)

- Định luật bảo toàn năng lượng:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + m_e c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - 1 \right)$$

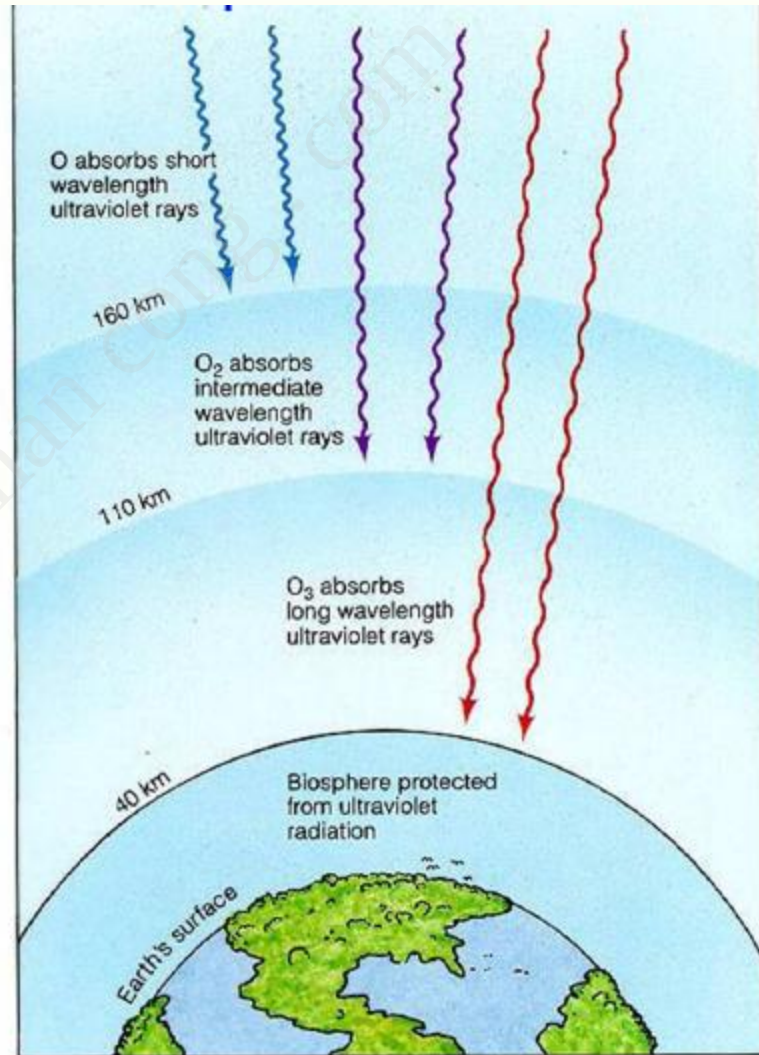
- Khử v, φ từ 3 phương trình trên, ta được công thức Compton:

$$\lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c}$$

5.3d Tầng ozone bảo vệ trái đất

- Các tia cực tím tán xạ Compton trên tầng ozone, nên bước sóng của chúng dài ra, không nguy hiểm như lúc đầu nữa.
- Chất sinh hàn CFC làm tầng ozone mỏng đi, nhất là ở vùng cực.

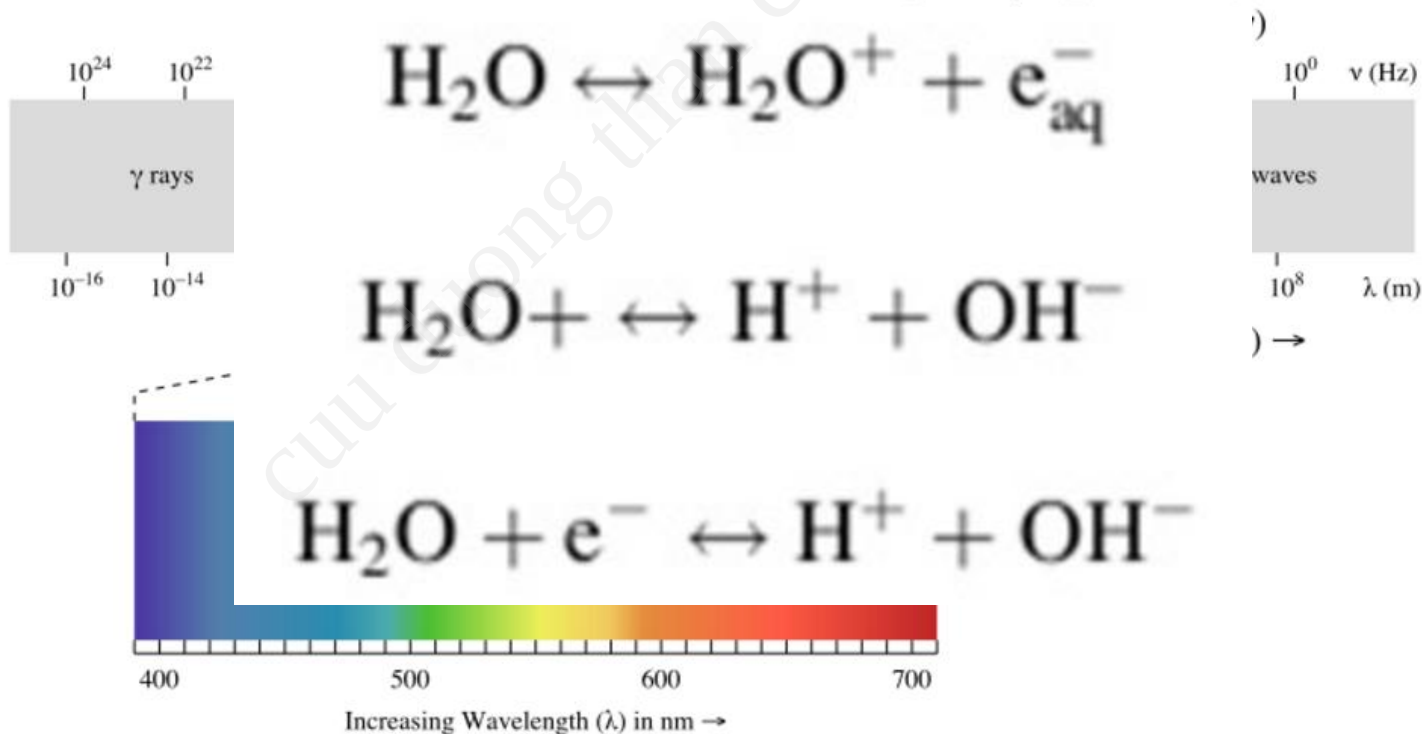




Ứng dụng

Tia gamma có năng lượng rất lớn, vì vậy, khi năng lượng của photon tới lớn hơn rất nhiều so với năng lượng liên kết của nguyên tử thì electron trong nguyên tử đó có thể coi là liên kết yếu hoặc thậm chí là tự do. Đây chính là hiệu ứng Compton.

Cơ chế tác động lên tế bào của tia gamma là hiện tượng ion hóa màng tế bào. Chính phân tử H⁺ tự do này làm đột biến phá vỡ dần chuỗi ADN nhân tế bào.





Ví dụ (1)

Một tia gamma năng lượng 5,5 MeV đến và chạm với một electron đứng yên. Tìm năng lượng của photon tán xạ ở góc 60° (đo bằng MeV).



Ví dụ (2)

- Bước sóng của photon tới:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)}{(5,5 \cdot 10^6)(1,6 \cdot 10^{-19})} = 2,26 \cdot 10^{-13} m$$

- Bước sóng của photon tán xạ:

$$\lambda' = \lambda + \lambda_c (1 - \sin \theta)$$

$$\begin{aligned} \lambda' &= 2,26 \cdot 10^{-13} + 2,43 \cdot 10^{-12} (1 - \cos 60^\circ) \\ &= 1,44 \cdot 10^{-12} m \end{aligned}$$



Ví dụ (3)

- Năng lượng của photon tán xạ:

$$E = \frac{hc}{\lambda'}$$

$$E = \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})(3 \cdot 10^8)}{(1,44 \cdot 10^{-12})(1,6 \cdot 10^{-19})} = 0,86 \text{ MeV}$$



Tổng kết chương 5 (1)

Bức xạ nhiệt

Năng suất bức xạ toàn phần

R có đơn vị $\text{J}/(\text{m}^2.\text{s})$ hay W/m^2 .

Năng suất bức xạ đơn sắc R_λ

$$R_\lambda = \frac{dU}{d\lambda}$$

R_λ liên hệ với R qua:

$$R = \int_0^\infty dU = \int_0^\infty R_\lambda d\lambda$$

Năng suất bức xạ đơn sắc R_f

$$R_f = \frac{dU}{df}$$

R_f liên hệ với R qua:

$$R = \int_0^\infty dU = \int_0^\infty R_f df$$



Tổng kết chương 5 (2)

Bức xạ nhiệt

Định luật Stefan-Boltzmann

$$R = \alpha \sigma T^4$$

với $\alpha < 1$ là hệ số hấp thụ của vật.

σ là hằng số Stefan-Boltzmann.

$$\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}^4)$$

Định luật Wien cho vật đen tuyệt đối

$$\lambda_m T = b$$

b : hằng số Wien

$$b = 2,8978 \times 10^{-3} \text{ m.K} = 2897,8 \text{ } \mu\text{m.K}$$

λ_m là bước sóng ứng với năng suất bức xạ đơn sắc lớn nhất



Tổng kết chương 5 (3)

Hiện tượng quang điện

photon có năng lượng và động lượng:

$$\varepsilon = hf$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$



$$\varepsilon = h \frac{c}{\lambda} = pc$$

bước sóng ngưỡng

$$\lambda_t = \frac{hc}{W}$$

Động năng cực đại của electron thoát:

$$K_{\max} = hf - W$$



Tổng kết chương 5 (4)

Tán xạ Compton

$$\lambda' - \lambda = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_c = 2,43 \times 10^{-12} m$$

λ_c là bước sóng Compton.

θ là góc lệch của photon tán xạ.